



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 39 435 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 33/00**  
H 01 S 5/30

②① Aktenzeichen: 100 39 435.3  
②② Anmeldetag: 11. 8. 2000  
④③ Offenlegungstag: 28. 2. 2002

DE 100 39 435 A 1

⑦① Anmelder:  
OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. oHG,  
93049 Regensburg, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

⑦② Erfinder: *Inventor*  
Schlereth, Karl-Heinz, 93133 Burglengenfeld, DE

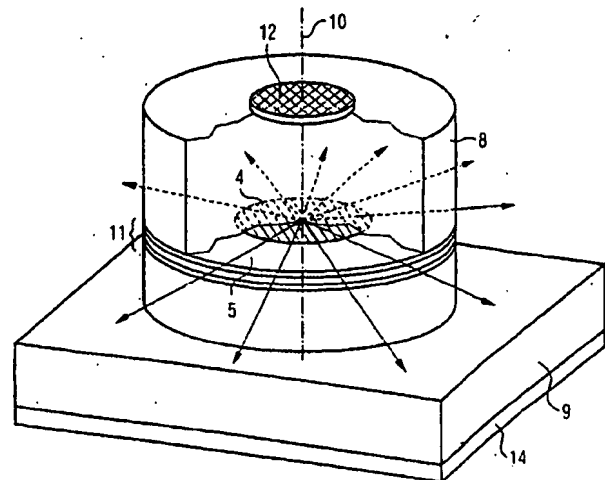
⑤⑤ Entgegenhaltungen:  
DE 29 51 000 A1  
DE 129 72 30B  
US 52 64 715 A  
WO 96 37 000 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Strahlungsemitterndes Halbleiterbauelement mit erhöhter Strahlungsauskopplung und Herstellungsverfahren hierfür

⑤⑦ Die Erfindung beschreibt ein strahlungsemitterndes Halbleiterbauelement mit erhöhter Strahlungsauskopplung, das einen zylindrischen Halbleiterkörper (8) mit einer aktiven Schicht (11) aufweist, die senkrecht zur Zylinderlängsachse (10) angeordnet ist. Die Strahlungsemission erfolgt vorwiegend in lateraler Richtung. In der aktiven Schicht ist im Betrieb ein erster Bereich (4) und ein zweiter Bereich (5) gebildet, wobei im wesentlichen nur im ersten Bereich (4) Strahlung generiert beziehungsweise verstärkt wird. Die Ausbildung des ersten Bereichs (4) kann durch Formung der Kontaktierung (12), Ausbildung von Isolationsringen (16), (17) oder Formung der aktiven Schicht (11) erfolgen.



DE 100 39 435 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein Herstellungsverfahren hierfür.

[0002] Bei strahlungsemitierenden Halbleiterbauelementen, wie beispielsweise Leuchtdioden oder Halbleiterlasern, besteht ein weithin bekanntes Problem darin, daß aufgrund von Totalreflexion ein Großteil der erzeugten Strahlung im Halbleiterkörper verbleibt und nicht ausgekoppelt wird. Die durch Totalreflexion verursachten Auskoppelverluste hängen unter anderem von der Form des Halbleiterkörpers und dem Halbleitermaterial ab.

[0003] Große Auskoppelverluste weisen hierbei insbesondere Materialien auf, die auf GaAs oder GaN basieren und einen hohen Brechungsindex besitzen. Ein hoher Brechungsindex führt zu einem kleinen Totalreflexionswinkel (bezogen auf die Normale der reflektierenden Oberfläche) und damit zu einem geringen Auskoppungsgrad, da nur die Strahlungsanteile ausgekoppelt werden, die unter einem Winkel auf die Auskoppelfläche einfallen, der kleiner ist als der Totalreflexionswinkel.

[0004] Bei zylindrischen Bauelementen mit vorwiegend lateraler Emissionsrichtung (senkrecht zur Zylinderlängsachse) wird das Totalreflexionsproblem weiter verschärft, da der Zylinderinnenteil als totalreflektierender Ringresonator wirkt und mit hoher Effizienz die Auskopplung der erzeugten Strahlung verhindert.

[0005] Zylindrische Bauelemente mit lateraler Emissionsrichtung stellen beispielsweise Microcavity-Laser dar, die aus US 5.825.799 bekannt sind.

[0006] Gezeigt ist hier ein zylinderförmiger Halbleiterkörper mit einer aktiven Schichtfolge, wobei die einzelnen Schichtebenen senkrecht zur Zylinderlängsachse angeordnet sind. Die erzeugte Laserstrahlung propagiert in der Schichtebene und wird über benachbarte Strukturen ausgekoppelt. Die Kopplung zwischen der laseraktiven Schicht und den Auskoppelstrukturen basiert dabei auf dem resonanten Tunneleffekt.

[0007] Solche zusätzlichen Auskopplungsstrukturen verursachen bei der Herstellung zusätzlichen Aufwand und müssen mit hoher Präzision auf die laseraktiven Schichten ausgerichtet werden. Weiterhin sind solche Strukturen auf bestimmte Lasertypen beschränkt.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein laterales strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement zu schaffen, das eine erhöhte Strahlungsausbeute aufweist und zugleich einfach und kostengünstig herstellbar ist.

[0009] Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Herstellungsverfahren hierfür anzugehen.

[0010] Diese Aufgabe wird durch ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Patentanspruch 1 beziehungsweise durch ein Herstellungsverfahren nach einem der Patentansprüche 13 bis 18 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 12 und 19.

[0011] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, den Halbleiterkörper des strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements zylindrisch zu formen, wobei die aktive Schicht senkrecht zur Zylinderlängsachse angeordnet ist und die im Betrieb generierte Strahlung zumindest teilweise senkrecht zur Zylinderlängsachse emittiert wird. Unter einem zylindrischen Körper ist hierbei neben einem Kreiszyylinder allgemein ein Körper mit übereinstimmender Grund- und Deckfläche zu verstehen, beispielsweise ein Zylinder mit einer Ellipse oder einem Oval als Grund- und Deckfläche.

[0012] In der aktiven Schicht ist ein erster Bereich ausgebildet, in dem elektromagnetische Strahlung generiert wird.

[0013] Dieser erste Bereich wird von einem zweiten Bereich umgeben, der strahlungsinaktiv ist. Unter strahlungsinaktiv ist hierbei zu verstehen, daß in diesem Bereich keine Strahlung erzeugt oder verstärkt wird oder daß eine Strahlungserzeugung oder -verstärkung in wesentlich geringerem Maß als im ersten Bereich stattfindet.

[0014] Entsprechend ist der zweite Bereich für die im ersten Bereich erzeugte Strahlung transparent oder bis zu einem gewissen Grad absorbierend gebildet.

[0015] Diese Anordnung bewirkt, daß der Strahlungsanteil, der unter einem größeren Winkel als dem Totalreflexionswinkel auf die Zylindermantelfläche auftrifft, verringert wird und daß eine mehrfache, zyklische Totalreflexion an der Zylindermantelfläche unterdrückt wird. Mit Vorteil werden so die Totalreflexionsverluste reduziert.

[0016] Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist der Halbleiterkörper als Halbleiterlaser ausgeführt. Dabei bildet die Zylindermantelfläche des Halbleiterkörpers den Laserresonator, so daß die generierte Laserstrahlung senkrecht zur Zylinderlängsachse emittiert wird.

[0017] In der aktiven Schicht ist wiederum ein erster Bereich ausgebildet, der von einem zweiten Bereich umgeben ist, wobei die stimulierte Emission im wesentlichen im ersten Bereich stattfindet.

[0018] Diese Anordnung unterdrückt vorteilhafterweise die Ausbildung unerwünschter, da schwer auskoppelbarer Ringmoden im Laserresonator.

[0019] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, den Halbleiterkörper beziehungsweise den Resonator als Kreiszyylinder auszubilden.

[0020] Bei kreiszylindrischen Halbleiterkörpern können aufgrund der hohen Rotationssymmetrie besonders leicht zyklische Mehrfachtotalreflexionen beziehungsweise Ringmoden entstehen, so daß deren Unterdrückung durch die Erfindung hier von besonders großem Vorteil ist.

[0021] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist der erste, strahlungserzeugende oder -verstärkende Bereich kreisförmig gebildet. Mit Vorteil wird dadurch eine radial homogene Leuchtdichte erzielt.

[0022] Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, den ersten Bereich kreisförmig und konzentrisch zur Zylinderlängsachse anzuordnen.

[0023] Bei Kreiszyindern ist unter Zylinderlängsachse die Rotationssymmetrieachse zu verstehen, bei Zylindern mit anderem Querschnitt die parallel zur Mantelfläche verlaufende Achse durch den Schwerpunkt der Querschnittsfläche. Mit Vorteil ist so der erste, strahlungsaktive Bereich gleichmäßig von der Mantelfläche abstandend, so daß eine effiziente Unterdrückung der Ringmoden gewährleistet ist.

[0024] Die aktive Schicht ist bei der Erfindung vorzugsweise als Einfachquantentopf (SQW, single quantum well) oder Mehrfachquantentopf (MQW, multiple quantum well) ausgeführt. Diese Schichtstrukturen erlauben den Aufbau von hocheffizienten Lasern mit geringer Schwellstromdichte.

[0025] Quantentopfstrukturen lassen sich bevorzugt durch Schichtsysteme auf GaAs-Basis realisieren. Als Material eignen sich insbesondere neben GaAs die darauf basierenden ternären oder quaternären Mischsysteme AlGaAs, AlGaSb, AlGaAsSb, InGaAsP sowie die verwandten Verbindungen wie InP oder GaSb.

[0026] Mit großem Vorteil wird hierbei die Ausbildung von Ringmoden verhindert, die ansonsten aufgrund des hohen Brechungsindex GaAs-basierender Materialien leicht entstehen können.

[0027] Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, auf dem Halbleiterkörper oder im

Halbleiterkörper ringförmige Isolationsschichten auszubilden.

[0028] Diese Isolationsschichten konzentrieren im Betrieb den Strom im Zentrum der aktiven Schicht, so daß sich dort der erste strahlungsemitierende oder strahlungsverstärkende Bereich ausbildet, während in die Randbereiche der aktiven Schicht kein Strom injiziert wird. Dort entsteht der strahlungsaktive, den ersten Bereich umgebende zweite Bereich.

[0029] Die Ausbildung ringförmiger Isolationsstrukturen ist beispielsweise aus der VCSIL-Technologie bekannt und etabliert und kann mit Vorteil bei der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden.

[0030] Die Isolationsschichten können dabei beispielsweise durch ringförmige Oxidschichten, semiisolierende Halbleiterschichten oder ringförmige, im Betrieb sperrende pn-Übergänge gebildet sein.

[0031] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die aktive Schicht selbst in lateraler Richtung in der Größe des ersten Bereichs ausgebildet. Mit Vorteil kann in diesem Fall die Größe des ersten, strahlenden Bereichs bei der Herstellung sehr genau festgelegt werden.

[0032] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung weist auf einer Hauptfläche des zylindrischen Halbleiterkörpers eine Kontaktfläche auf, deren Fläche kleiner ist als die Querschnittsfläche des zylindrischen Halbleiterkörpers und die im Zentrum der Hauptfläche ausgebildet ist.

[0033] Diese Kontaktfläche bewirkt mit Vorteil, daß im Betrieb in der aktiven Schicht ein Bereich bestromt wird, der etwa der axialen Projektion der Kontaktfläche auf die aktive Schicht entspricht und den ersten Bereich bildet, während in die Randzone der aktiven Schicht kein Strom injiziert wird, so daß diese Randzone den zweiten Bereich bildet.

[0034] Alternativ kann sich die Kontaktfläche auch über die gesamte Hauptfläche des Halbleiterkörpers erstrecken, wobei zwischen Kontaktfläche und Halbleiterkörper ein isolierender Ring, beispielsweise ein Oxidring, gebildet ist, der mit gleicher Wirkung dazu führt, daß nur das Zentrum der aktiven Schicht bestromt wird.

[0035] Mit großem Vorteil können beide Alternativen bei bestehenden Halbleiterstrukturen eingesetzt werden, da lediglich die außenliegende Kontaktgeometrie geändert werden muß.

[0036] Bei einem bevorzugten Herstellungsverfahren für ein erfindungsgemäßes Bauelement mit einer ringförmigen Isolationsschicht wird diese Isolationsschicht durch selektive Abscheidung eines isolierenden Materials gebildet.

[0037] Ein weiteres vorteilhaftes Herstellungsverfahren besteht darin, einen ringförmigen Bereich des Halbleiterkörpers durch selektive Oxidation, Ionenimplantation oder Diffusion in einen Isolator umzuwandeln.

[0038] Bei Oxidation entsteht dabei auf chemischen Weg aus dem Halbleitermaterial ein nichtleitendes Oxid. Ionenimplantation führt zu einer hohen Zahl von Gitterdefekten im Implantationsbereich, so daß der Halbleiter aufgrund der deformierten Gitterstruktur als Isolator wirkt. Durch Diffusion kann bei Verwendung eines geeigneten Diffusionsmaterials die Leitfähigkeit des Halbleiters im Diffusionsbereich so weit herabgesetzt werden, daß der Diffusionsbereich gegenüber dem diffusionsfreien Gebiet isolierend wirkt. Alle drei Verfahren werden häufig bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen verwendet und können daher leicht in den Herstellungsprozeß eines erfindungsgemäßen Bauelements integriert werden.

[0039] Bei einem weiteren bevorzugten Herstellungsverfahren wird die aktive Schicht durch selektive Epitaxie im Zentrum des Halbleiterkörpers aufgewachsen, so daß die ak-

tive Schicht selbst die Größe des ersten, strahlungsaktiven Bereichs festlegt. Mit Vorteil kann bei diesem Herstellungsverfahren auf Zusatzschritte zur Ausbildung einer ringförmigen Isolationsschicht verzichtet werden.

[0040] Bei einem weiteren Herstellungsverfahren wird zunächst in einem ersten Schritt die aktive Schicht über den gesamten Querschnitt des Halbleiterkörpers ausgebildet.

[0041] Im nächsten Schritt wird der ringförmige Randbereich dieser aktiven Schicht durch Implantation oder Diffusion durchmischelt, so daß in diesem Bereich im wesentlichen keine Strahlungserzeugung im Betrieb stattfindet.

[0042] Dieses Verfahren ist besonders geeignet für Quantentopfschichten, die aufgrund der äußerst dünnen Schichtstrukturen leicht nachträglich durch Diffusion oder Implantation degradiert werden können.

[0043] Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung werden im folgenden anhand von zehn Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Fig. 1 bis 11 erläutert.

[0044] Es zeigen:

[0045] Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0046] Fig. 2 eine schematische Schnittdarstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements im Vergleich zum Stand der Technik,

[0047] Fig. 3 eine schematische, perspektivische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0048] Fig. 4 das Schwellenverhalten des ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements in Abhängigkeit der Größe des ersten, strahlungsverstärkenden Bereichs,

[0049] Fig. 5 eine schematische Schnittdarstellung eines vierten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0050] Fig. 6 eine schematische Schnittdarstellung eines fünften Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0051] Fig. 7 eine schematische Schnittdarstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0052] Fig. 8 eine schematische Schnittdarstellung eines siebten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0053] Fig. 9 eine schematische Schnittdarstellung eines achten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements,

[0054] Fig. 10 eine schematische Schnittdarstellung eines neunten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements, und

[0055] Fig. 11 eine schematische Schnittdarstellung eines zehnten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bauelements.

[0056] Gleiche oder gleichwirkende Teile sind hierbei mit demselben Bezugszeichen versehen.

[0057] Fig. 1 zeigt den Querschnitt durch den Halbleiterkörper eines zylindrischen Microcavity-Lasers auf GaAs-Basis. Die Zylinderlängsachse steht senkrecht auf der Schnittebene. Die Zylindermantelfläche 1 bildet einen zylindrischen, im Schnitt kreisförmigen Resonator.

[0058] In einem solchen Resonator sind einerseits Moden 2 ausbreitungsfähig, die durch den Resonatormittelpunkt verlaufen und an der Mantelfläche 1 unter senkrechtem Einfall in sich zurückreflektiert werden (Zentralmoden). Bei der Reflexion an der Mantelfläche 1 wird ein Teil der Strahlung aus dem Laserresonator ausgekoppelt.

[0059] Eine weitere ausbreitungsfähige Mode stellt die

Ringmode 3 in Form eines gleichseitigen Dreiecks dar. Diese Mode 3 trifft unter  $30^\circ$  (bezogen auf die Mantelflächennormale im Auftreffpunkt) auf die Zylindermantelfläche 1 auf.

[0060] Da dieser Winkel größer ist als der Totalreflexionswinkel, der für GaAs gegen Luft  $17,6^\circ$  beträgt, läuft die Ringmode 3 unter Totalreflexion nahezu verlustfrei im Resonator um.

[0061] Ringmoden höherer Ordnung in Form von regelmäßigen Polygonen höherer Eckenzahl sind ebenfalls ausbreitungsfähig. Aufgrund ihrer Propagationsart werden die Ringmode 3 und höhere Ringmoden als "Flüstergaleriemoden" (WG-Mode, whispering gallery mode) bezeichnet. Sie besitzen eine hohe Umlaufverstärkung und können daher leicht angeregt werden.

[0062] Die Ausbildung solcher WG-Moden ist nachteilig, da die von WG-Moden abgebaute Besetzungsinversensdichte der erwünschten Zentralmode 2 nicht mehr zur Verfügung steht, so daß die Zentralmode 2 abgeschwächt oder sogar ausgelöscht wird.

[0063] Die Erfindung unterdrückt ein Anschwingen dieser WG-Moden dadurch, daß der verstärkende, laseraktive erste Bereich 4 im Zentrum der Querschnittsfläche ausgebildet ist.

[0064] Dadurch ist der Überlapp zwischen dem Modenvolumen und dem laseraktiven Bereich bei der WG-Mode 3 geringer als bei der Zentralmode 2.

[0065] Entsprechend erfährt die WG-Mode 3 eine geringere Umlaufverstärkung als die Zentralmoden 2, so daß bevorzugt die erwünschte und auskoppelfähige Zentralmoden 2 anschwingt. Da der Brechungsindex der beiden Bereiche 4 und 5 annähernd gleich ist, ist der Totalreflexionswinkel an dieser Grenzfläche so groß, daß sich innerhalb des laseraktiven Bereichs 4 keine WG-Moden ausbilden können.

[0066] Die Richtung der Zentralmode 2 und der WG-Mode 3 ist aufgrund der Rotationssymmetrie des Resonators nicht festgelegt. Im Betrieb bildet sich daher eine Vielzahl von Zentralmoden verschiedener Richtung aus. Die in Fig. 1 gezeigten Moden 2 und 3 sind nur ein mögliches Beispiel.

[0067] In Fig. 2a ist der Fig. 1 entsprechende Querschnitt durch den kreiszylindrischen Halbleiterkörper einer Hochleistungs-LED gezeigt. Zum Vergleich ist in Fig. 2b eine LED nach dem Stand der Technik dargestellt.

[0068] Bei der LED nach dem Stand der Technik ist die aktive Schicht durchgehend über den gesamten Querschnitt ausgebildet. Die in den Randschichten erzeugte, lateral emittierte Strahlung, beispielhaft anhand des Randbereichs 6 dargestellt, trifft zu großen Teilen unter einem so flachen Winkel auf der Zylindermantelfläche 1 auf, daß diese Strahlungsanteile 7 dort totalreflektiert werden. Entsprechend wird nur ein geringer Anteil der erzeugten Strahlung ausgekoppelt.

[0069] Der totalreflektierte Strahlungsanteil 7 läuft unter zyklischer Mehrfachtotalreflexion im Halbleiterkörper um und vermindert so die Strahlungsausbeute.

[0070] Bei der in Fig. 2a dargestellten LED hingegen ist der strahlungserzeugende, erste Bereich 4 kreisförmig und konzentrisch zur Zylinderquerschnittsfläche ausgebildet, wobei der strahlungserzeugende erste Bereich 4 kleiner ist als die Zylinderquerschnittsfläche. Der Brechungsindex des strahlungsaktiven Bereichs 4 und des ihn umgebenden strahlungsinaktiven Bereichs 5 ist annähernd gleich.

[0071] Durch die Konzentration der Strahlungserzeugung auf den inneren Bereich 4 wird Einfallswinkel auf die Zylindermantelfläche 1 verringert und damit der Anteil der totalreflektierten Strahlung verringert beziehungsweise die Strahlungsausbeute erhöht.

[0072] Besonders vorteilhaft ist es hierbei, das Radienver-

hältnis gemäß der Formel

$$\frac{r}{R} \leq \frac{n_0}{n}$$

zu wählen, wobei  $r$  den Radius des ersten Bereichs 4,  $R$  den Radius der Querschnittsfläche,  $n$  den Brechungsindex des Halbleitermaterials und  $n_0$  den Brechungsindex des den Halbleiterkörper umgebenden Mediums bezeichnet.

[0073] Bei dieser Geometrie trifft jeder aus dem ersten Bereich 4 emittierte Lichtstrahl unter einem kleineren Winkel als dem Totalreflexionswinkel auf die Mantelfläche 1 auf, so daß keine Totalreflexion an der Mantelfläche auftritt.

[0074] In Fig. 3 ist perspektivisch ein strahlungsenittierendes Halbleiterbauelement dargestellt, dessen Querschnitt dem in Fig. 1 beziehungsweise 2a dargestellten Querschnitt entspricht.

[0075] Das Bauelement besteht aus einem kreiszylindrischen Halbleiterkörper 8, der auf ein elektrisch leitfähiges Substrat 9 aufgebracht ist. Auf der dem Halbleiterkörper 8 abgewandten Seite weist das Substrat 9 eine Kontaktfläche 14 auf.

[0076] In dem Halbleiterkörper 8 ist senkrecht zur Zylinderlängsachse 10 eine aktive Schicht oder eine Folge von aktiven Schichten 11 ausgebildet, die sich über den gesamten Querschnitt des Halbleiterkörpers 8 erstreckt.

[0077] Auf einer Hauptfläche des Halbleiterzylinders 8 ist ein kreisförmiger Kontakt 12 gebildet und konzentrisch zum Zylinderquerschnitt angeordnet. Der Radius der Kontaktfläche 12 ist hierbei kleiner als der Radius des Halbleiterkörpers 8. Im Betrieb wird daher nur ein kreisförmiger Bereich im Zentrum der aktiven Schicht besonnt. Dieser Bereich bildet den strahlungsaktiven, ersten Bereich 4, da nur diesem Bereich Strahlung generiert beziehungsweise bei einem Laser verstärkt wird, während der Außenring 14 den strahlungsinaktiven, zweiten Bereich 5 bildet.

[0078] In Fig. 4 ist für einen Halbleiterlaser mit einem Fig. 1 entsprechenden Querschnitt die Schwellenverstärkung  $g_{th}$  in Abhängigkeit von dem Verhältnis  $q$  der Fläche des laseraktiven ersten Bereichs 4 zur Gesamtquerschnittsfläche für die in Fig. 1 gezeigte Zentralmode 2 und WG-Mode 3 Moden aufgetragen.

[0079] Die Schwellenverstärkung einer Mode ist die Verstärkung, für die bei einem Resonatorumlauf Gesamtgewinn und Gesamtverlust gleich sind.

[0080] Für die Schwellenverstärkung  $g_{th}$  der Zentralmode 2 gilt dabei folgender Zusammenhang:

$$\rho_z e^{2r_{th} - 2(R-r)\alpha} = 1,$$

wobei  $r$  den Radius des ersten Bereichs 4,  $R$  den Radius der Querschnittsfläche,  $\rho_z$  den Reflexionsgrad der Auskoppelflächen und  $\alpha$  die Absorption im strahlungsinaktiven, zweiten Bereich bezeichnet.

[0081] Ohne Verspiegelung ergibt sich der Reflexionsgrad  $\rho_z$  aus den Fresnelgleichungen für senkrechte Inzidenz zu

$$\rho_z = \frac{(n - n_0)^2}{(n + n_0)^2}.$$

[0082] Der Brechungsindex des Halbleiterkörpers ist dabei durch  $n$ , der Brechungsindex des umgebenden Medium durch  $n_0$  gegeben.

[0083] Für die Schwellenverstärkung  $g_{th}$  der WG-Mode 3 gilt entsprechend:

$$\rho_A e^{2\pi R a - (\sqrt{3}R - 2\pi)a} = 1$$

$$\text{mit } s = \sqrt{r^2 - \frac{R^2}{4}}$$

[0084] Da die WG-Mode unter Totalreflexion umläuft, beträgt der Reflexionsgrad  $\rho_A$  nahezu 100%.

[0085] Die Strecke  $s$  ist ein Maß für den Überlapp zwischen Modenvolumen und laseraktivem Bereich. Die Gesamtlänge der innerhalb des laseraktiven Bereichs 4 liegenden Anteile der WG-Mode 3 bei einem Umlauf beträgt  $6s$ .

[0086] Aufgetragen ist in Fig. 4 die Schwellenverstärkung 19 für die Zentralmode 2 und Schwellenverstärkung 20 für die WG-Mode 3 in Abhängigkeit des Verhältnisses  $q$  der Fläche des ersten Bereichs 4 zur Querschnittsfläche des Halbleiterkörpers. Im Betrieb schwingt bevorzugt die Mode mit der geringeren Schwellenverstärkung an.

[0087] Wie die Abbildung zeigt, besitzt die Zentralmode 2 bis zu einem Flächenverhältnis von 0,64 eine geringere Schwellenverstärkung als die WG-Mode 3 und schwingt daher bevorzugt an. Für ein Flächenverhältnis unter 0,25, entsprechend einem Radienverhältnis von 0,5, überlappt die WG-Mode nicht mehr mit dem Verstärkungsbereich 4, so daß in diesem Fall die WG-Mode 3 nicht anschwingen kann.

[0088] Für Radienverhältnisse unter 0,5 ist somit auch die Schwellenverstärkung  $g_{th}$  für die WG-Mode 3 nicht mehr definiert.

[0089] Ein Radienverhältnis von 0,5 ist aufgrund der effizienten Unterdrückung von WG-Moden bei gleichzeitiger Maximierung der Größe des ersten, strahlungsaktiven Bereichs 4 besonders vorteilhaft.

[0090] Da höhere WG-Moden näher an der Zylindermantelfläche 1 propagieren als die WG-Mode 3, werden diese Moden noch stärker als die WG-Mode 3 unterdrückt.

[0091] In Fig. 5 bis 11 sind sieben verschiedene Realisierungen der Erfindung in einer Schnitansicht gezeigt.

[0092] Das in Fig. 5 gezeigte Bauelement entspricht dabei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel. Der auf ein Substrat 9 aufgebrachte, zylindrische Halbleiterkörper 8 ist mit einem kreisförmigen Kontakt 12 versehen, dessen Radius kleiner ist als der Radius des Halbleiterkörpers. Im Betrieb wird nur in das kreisförmige Zentrum 13 der aktiven Schicht 11 Strom 15 eingeleitet und so der strahlungsaktive erste Bereich 4 ausgebildet.

[0093] Ein ähnlicher Stromfluß kann mit dem in Fig. 6 gezeigten Bauelement erreicht werden. Hier ist auf dem Halbleiterkörper 8 eine Isolationsschicht 16 abgeschieden, die eine Hauptfläche des Halbleiterkörpers 8 ringförmig abdeckt. Auf dieser Isolationsschicht 16 ist eine Kontaktfläche 12 über den gesamten Querschnitt des Halbleiterbauelements ausgebildet. In den Halbleiterkörper 8 wird nur durch den von der Isolationsschicht 16 unbedeckten Bereich Strom 15 injiziert. Wie oben beschrieben bildet sich daher nur im Zentrum 13 der aktiven Schicht 11 ein erster, strahlungsaktiver Bereich 4 aus.

[0094] Eine weitere Möglichkeit, diesen Bereich 4 zu bilden, ist in Fig. 7 gezeigt. Hier ist in der Nähe der aktiven Schicht eine ringförmige Isolationsschicht 17 eingebracht. Durch diesen Isolationsring wird ebenfalls der Strom 15 im Zentrum 13 der aktiven Schicht 11 konzentriert. Der Isolationsring 17 kann dabei durch eine ringförmige Oxidschicht, durch eine ringförmige, protonenisolierende Halbleiterschicht oder einen ringförmigen, sperrenden pn-Übergang gebildet sein.

[0095] Alternativ kann wie in Fig. 8 dargestellt, die ring-

förmige Isolationsschicht 17 auch direkt auf der aktiven Schicht 11 abgeschieden sein, beispielsweise durch eine semisolierende Halbleiterschicht oder eine der oben genannten Möglichkeiten.

[0096] Das in Fig. 9 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von den bisherigen Ausführungsbeispielen darin, daß die aktive Schicht 11 nur im Zentrum und nicht über den gesamten Querschnitt des Halbleiterkörpers ausgebildet ist. Hier ist der erste, strahlungsaktive Bereich 4 durch die Größe der aktiven Schicht 11 selbst gegeben, der strahlungsaktive Bereich wird von dem die aktive Schicht lateral umgebenden Halbleitermaterial gebildet. Eine solche, lateral begrenzte aktive Schicht kann beispielsweise mittels selektiver Epitaxie aufgewachsen werden.

[0097] Eine weitere Möglichkeit der Ausbildung einer lateral begrenzten aktiven Schicht 11 besteht darin, die aktive Schicht 11 zunächst über den gesamten Querschnitt des Halbleiterkörpers 8 auszubilden und danach die Randzone der aktiven Schicht 11 so zu behandeln, daß hier keine Strahlungserzeugung mehr stattfinden kann. Fig. 11. Bei SQW- und MQWstrukturen kann dies beispielsweise durch diffusions- oder implantationsinduzierte Durchmischung der Quantenschichten erfolgen.

[0098] Ein weiteres, auf Ionenimplantation oder Diffusion beruhendes Ausführungsbeispiel ist in Fig. 10 gezeigt. Hier ist durch Protonenisolation oder Diffusion die Leitfähigkeit der Mantelschicht 18 des Halbleiterkörpers 8 so verringert, daß im Betrieb nur das Zentrum des Halbleiterkörpers 8 von Strom 15 durchflossen wird und so der strahlungsaktive, erste Bereich 4 im Zentrum der aktiven Schicht 11 ausgebildet wird.

[0099] Die beschriebenen Techniken zur Ausbildung eines erfindungsgemäßen Halbleiterkörpers sind dem Fachmann bekannt und werden häufig bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen angewandt. Daher erfordern die angegebenen Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens vorteilhafterweise keinen besonderen Mehraufwand bei der Herstellung.

[0100] Die Erläuterung der Erfindung anhand der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung zu verstehen. Die Merkmale der einzelnen Ausführungsbeispiele sind nicht auf das jeweilige Ausführungsbeispiel beschränkt, sondern können je nach Erfordernis auch kombiniert werden.

#### Patentansprüche

1. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit einer aktiven Schicht (11), einer Kontaktfläche (12) und einem zylinderförmigen Halbleiterkörper (8), wobei die aktive Schicht (11) senkrecht zur Zylinderlängsachse (10) angeordnet ist und die im Betrieb generierte Strahlung zumindest teilweise senkrecht zur Zylinderlängsachse (10) emittiert wird, dadurch gekennzeichnet, daß im Betrieb in der Ebene der aktiven Schicht (11) ein erster Bereich (4) und ein zweiter Bereich (5) gebildet sind, wobei die Strahlung im wesentlichen nur im ersten Bereich (4) erzeugt wird und der erste Bereich (4) von dem zweiten Bereich (5) umgeben ist.

2. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterkörper (8) als Halbleiterlaser ausgeführt ist, wobei der Halbleiterkörper (8) einen zylindrischen Resonator bildet und die im Betrieb erzeugte Laserstrahlung senkrecht zur Zylinderlängsachse (10) emittiert wird und die stimulierte Emission im wesentlichen im ersten Bereich (4) stattfindet.

3. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach

- Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterkörper (8) als Kreiszylinder geformt ist.
4. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bereich (4) kreisförmig gebildet ist.
5. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bereich (4) kreisförmig gebildet ist und konzentrisch zur Zylinderlängsachse (10) angeordnet ist.
6. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterkörper (8) GaAs, AlGaAs, AlGaSb, AlGaAsSb, InGaAsP, InP oder GaSb oder ein darauf basierendes Material enthält.
7. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Halbleiterkörper (8) mindestens ein Isolationsring (17) ausgebildet ist, der im Betrieb den Strom (15) zum ersten Bereich (4) hinführt.
8. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Isolationsring (17) durch eine semiisolierende Schicht mit leitfähigem Zentrum, einen ringförmigen, im Betrieb sperrenden pn-Übergang oder eine ringförmige Oxidschicht gebildet ist.
9. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die laterale Ausdehnung der aktiven Schicht (11) dem ersten Bereich (4) entspricht.
10. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe der Kontaktfläche (12) der lateralen Ausdehnung des ersten Bereichs (4) entspricht.
11. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktfläche (12) über den gesamten Querschnitt des Halbleiterkörpers (8) ausgebildet ist und zwischen der Kontaktfläche (12) und dem Halbleiterkörper (8) ein Isolationsring (16) angeordnet ist.
12. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Isolationsring (17) durch eine ringförmige Oxidschicht gebildet ist.
13. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 7 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Isolationsring (16), (17) durch Abscheidung eines isolierenden Materials gebildet wird.
14. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 7 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Isolationsring (16), (17) durch selektive Oxidation der Ringfläche gebildet wird.
15. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Isolationsring (17) durch selektive Ionenimplantation im Ringbereich gebildet wird.
16. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Isolationsring (17) durch selektive Diffusion eines Materials in den Ringbereich gebildet wird, das die Leitfähigkeit des Halbleiterkörpers (8) in diesem Bereich mindert.
17. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Schicht (11)

durch selektive Epitaxie im Zentrum des zylindrischen Halbleiterkörpers ausgebildet wird.

18. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch die Schritte

- Ausbildung einer aktiven Schicht (11), die sich über die gesamte Querschnittsfläche des zylindrischen Halbleiterkörpers (8) erstreckt,
- Durchmischung der dem zweiten Bereich (5) entsprechenden Anteile der aktiven Schicht durch Diffusion oder Implantation, so daß in dem durchmischten Bereich im Betrieb im wesentlichen keine Strahlung erzeugt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Schicht als Einfachquantentopf oder Mehrfachquantentopf ausgebildet wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

FIG 1

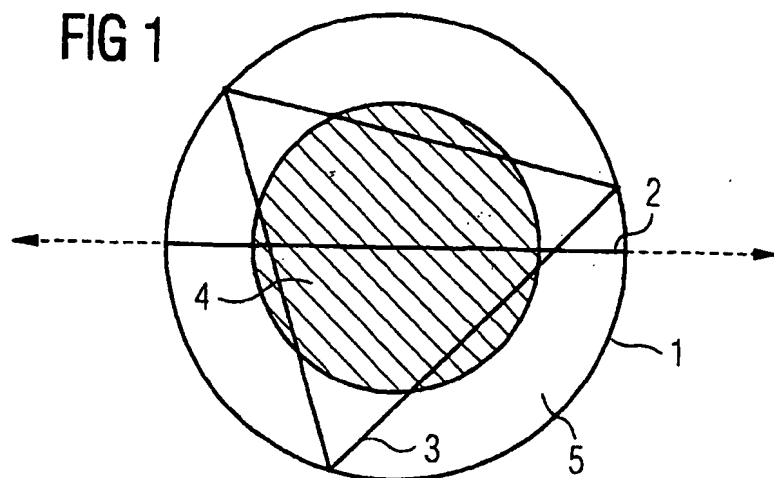


FIG 2a

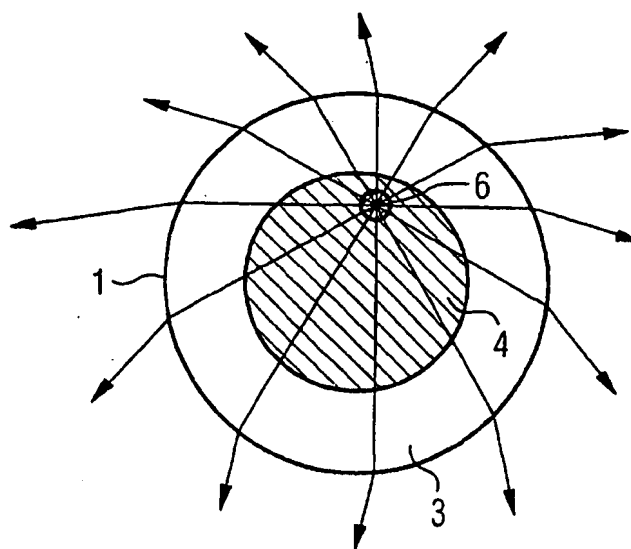


FIG 2b

Stand der Technik

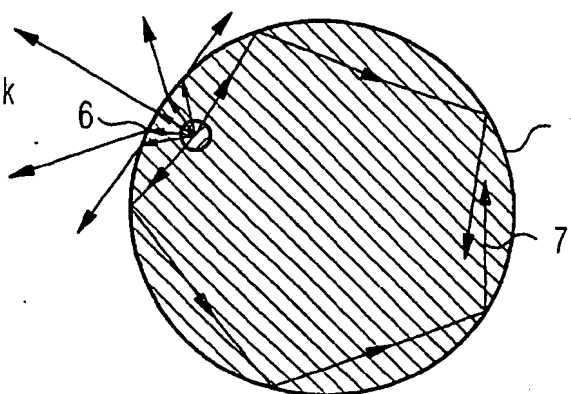




FIG 3

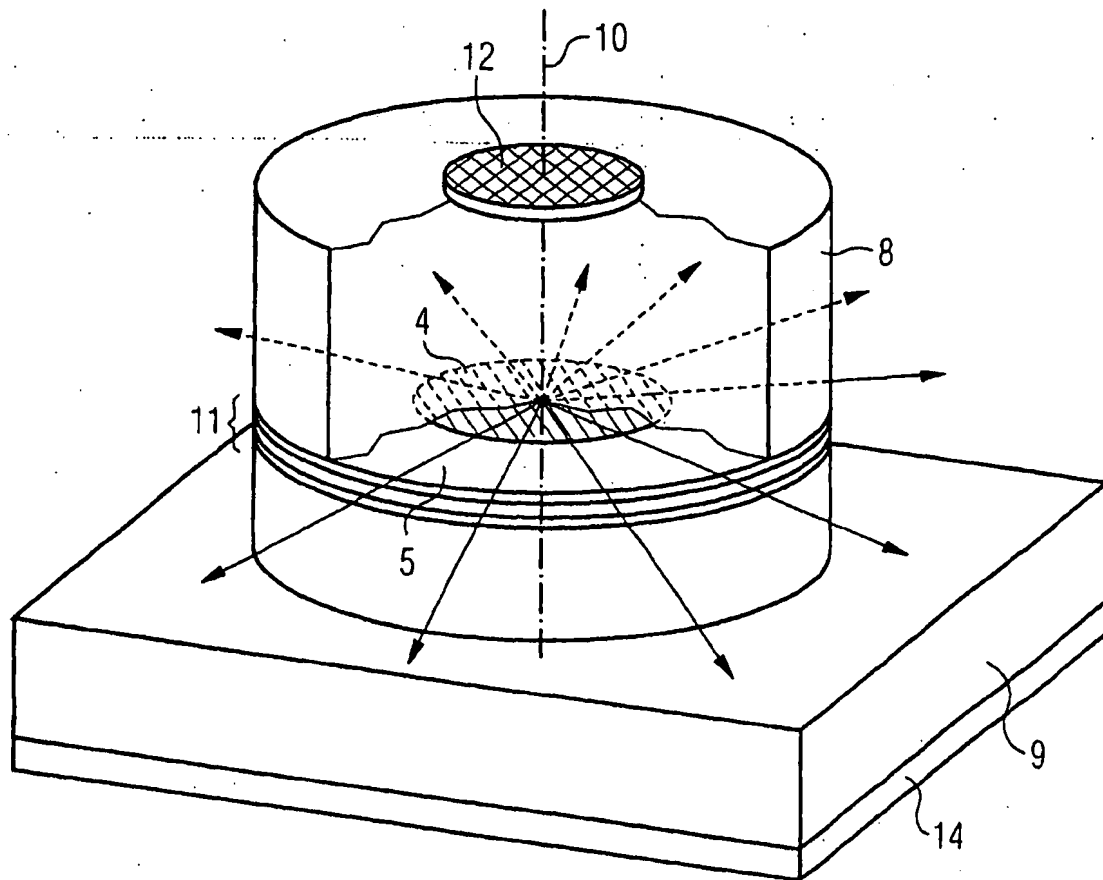


FIG 4

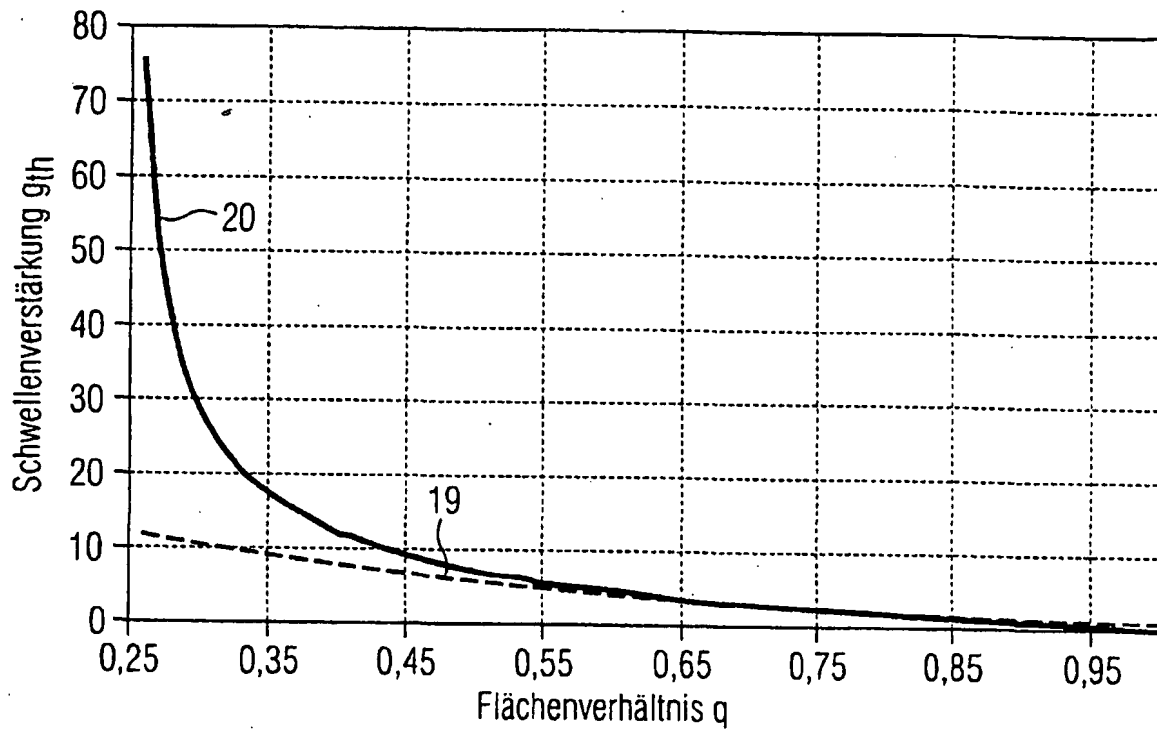


FIG 5

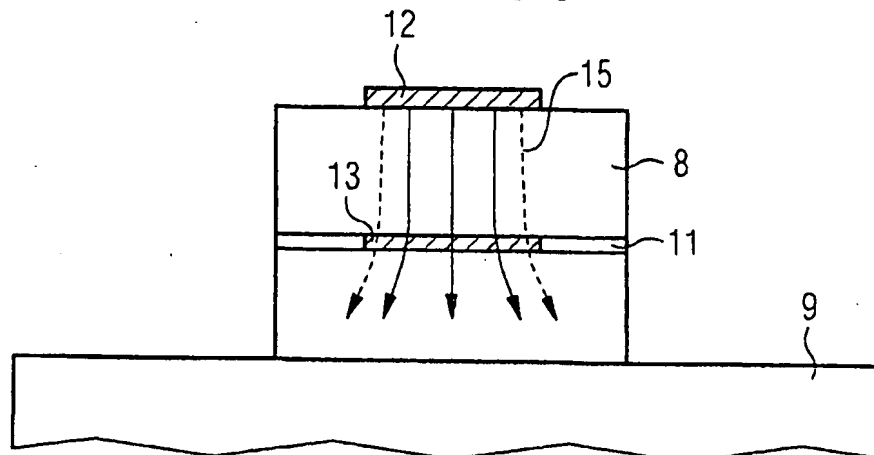


FIG 6

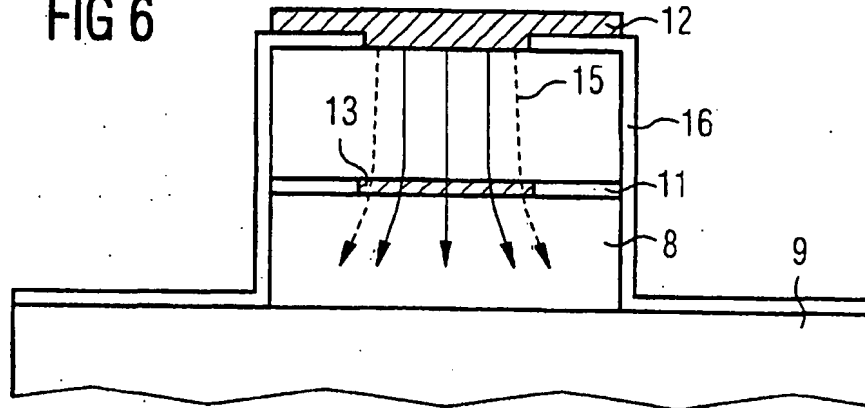


FIG 7

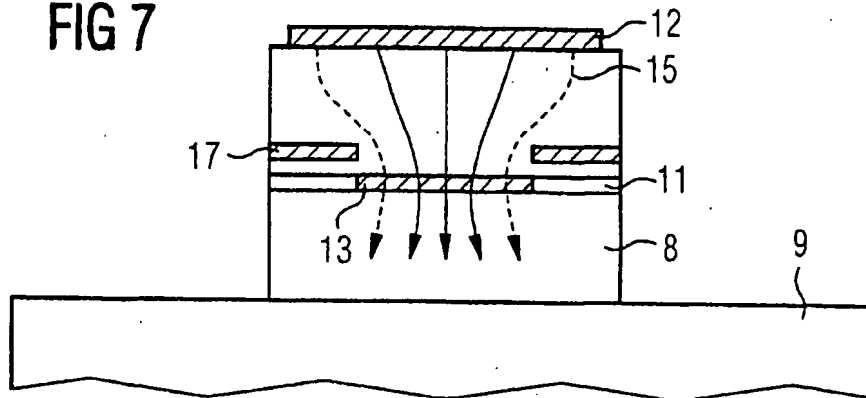


FIG 8

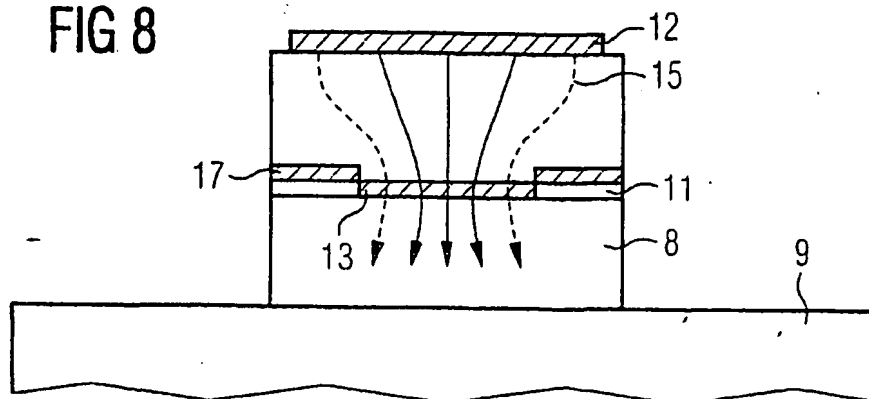


FIG 9

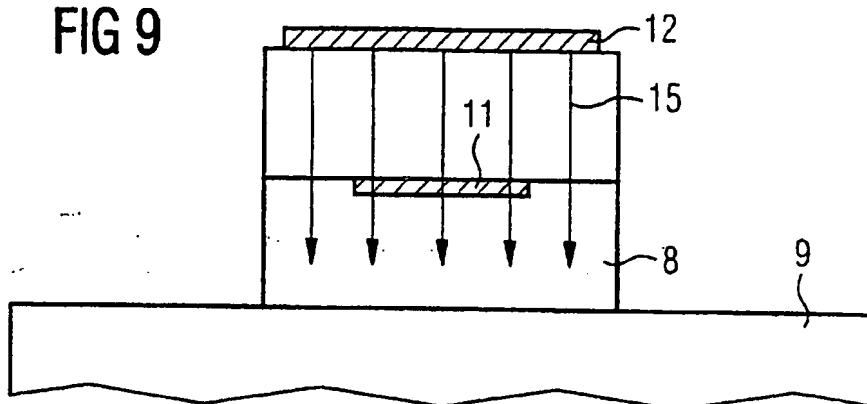


FIG 10

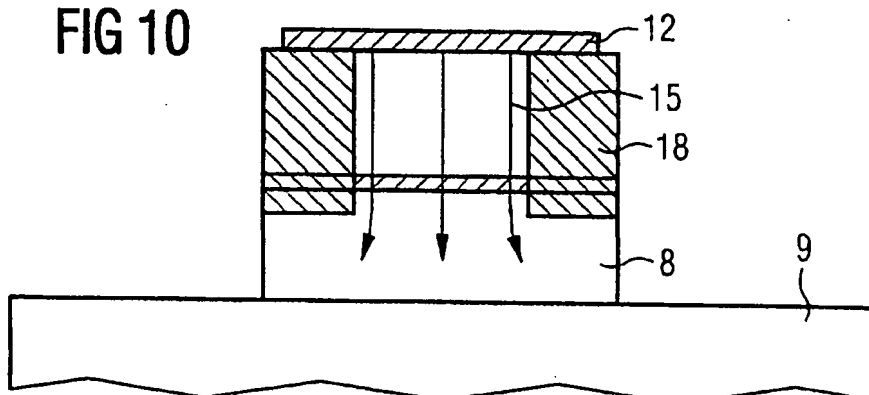


FIG 11

